

Family list

2 family member for:

JP63316430

Derived from 1 application.

1 ENERGY QUANTITY CONTROL DEVICE

Publication info: **JP2773117B2 B2** - 1998-07-09

JP63316430 A - 1988-12-23

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

?

⑫ 公開特許公報(A)

昭63-316430

⑤Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	⑬公開 昭和63年(1988)12月23日
H 01 L 21/30	3 0 1	G-7376-5F	
	3 1 1	S-7376-5F	
H 01 S 3/104		7630-5F	
3/134		7630-5F	審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑭発明の名称 エネルギー量制御装置

⑮特 願 昭62-152657

⑯出 願 昭62(1987)6月19日

⑰発 明 者 鈴木 一 明 東京都品川区西大井1丁目6番3号 日本光学工業株式会社
大井製作所内

⑱出 願 人 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑲代 理 人 弁理士 渡辺 隆男

明 細 書

1. 発明の名称

エネルギー量制御装置

2. 特許請求の範囲

(1). エネルギー発生源から発生して被照射物に達するパルスエネルギー量の総和を所定の範囲内に制御する装置において、

前記被照射物に達するパルスエネルギー量を調整する調整手段と；

前記パルスエネルギー量の積算値を計測する積算手段と；

該積算手段による積算値が目標値よりも小さい所定値を超えるまで、前記エネルギー発生源から単数もしくは複数のパルスエネルギーを射出させる第1制御手段と；

前記所定値を超えた時点で、前記目標値に到達するのに必要な修正エネルギー量を算出し、該算出結果とパルスエネルギーのばらつきと前記目標値への制御精度とに基づいて前記調整手段と前記エネルギー発生源に達するエネルギー調整量およ

び／またはパルス数の条件を算出する演算手段と、該条件に基づいて前記被照射物へパルスエネルギーの修正照射を行なう第2制御手段とを備えたことを特徴とするエネルギー量制御装置。

(2). 前記目標値よりも小さい所定値は、前記パルスエネルギー量の1パルス分が次に照射されると、該パルスエネルギー量の平均的な大きさとばらつきによって前記積算値が目標値に対する制御精度からはずれると予測される値に定められることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の装置。

(3). 前記調整手段が調整量を連続的に変化させる場合、前記演算手段は前記修正照射のパルス数を予め所定値に設定し、必要とされるパルスエネルギー調整量を算出することを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の装置。

(4). 前記調整手段が調整量を離散的に変化させる場合、前記演算手段は前記修正照射時のエネルギー調整量とパルス数との最適な組み合わせを選択することを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、適宜の応答物体に対する照射エネルギー量の制御にかかるものであり、例えば、露光光としてエキシマ等のパルスレーザを使用する露光装置の露光量制御に好適なエネルギー量制御装置に関するものである。

〔従来の技術〕

従来のエネルギー量制御装置、例えば半導体素子製造用の露光装置における露光光の制御手段装置としては、特開昭60-169136号公報に開示されているものがある。

この装置は、応答体（レジスト付きウェハ等）へ与える露光エネルギーを、適正露光量よりわずかに少ない露光エネルギーを与える粗露光と、残りの必要とされる露光エネルギーを与える修正露光との2段階に分けることにより、全体として露光エネルギーのばらつきを抑制するようにしたものである。

すなわち、複数パルスで1ショットの露光を行

光エネルギーの制御にも、増々高い精度が必要とされている。

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、露光光量などのエネルギー量を、要求される精度に応じて制御することができるエネルギー量制御装置を提供することを目的とするものである。

〔問題点を解決する為の手段〕

上記問題点を解決する為、

本発明は、エネルギー発生源から出力されるパルスエネルギー量を調整する調整手段と、これらパルスのエネルギー量の積算値を計測する積算手段と、積算値をモニターして粗露光を行なう第1制御手段と、粗露光終了時の積算値及び所定の制御精度等に応じて、パルスエネルギー調整量のみ、またはパルスエネルギー調整量および修正パルス数を制御する第2制御手段とを具備することとした。

〔作用〕

本発明においては、エネルギー発生源から出力されるパルスのエネルギー量のパルス毎のばらつ

う場合、エネルギー量を小さくした最終パルスによって露光量を制御することにより、最適露光量を得るようにしている。

尚、ここで1ショットとは一括露光方式の場合は、マスクを介してウェハ全体に露光エネルギーが照射されることであり、ステップアンドリビート方式の場合は、ウェハ上の部分的な領域に露光エネルギーが照射されることである。

〔発明が解決しようとする問題点〕

しかしながら、以上のような手段では、最終パルスに含まれるエネルギー量の誤差に（ばらつき）に対して何ら配慮をされていないため、依然として露光量が適格に制御されず、適切な露光を行なうことができないという不都合がある。また、上記公報に指摘されているように、半導体素子製造のフォトリソグラフィ工程における露光量の変動は、解像力や線幅の再現性に重大な影響を与えるおそれがある。そして、他方では、集積回路の集積度は近年増々向上しており、解像度等もより良いものが要求されるに至っている。従って、露

きを考慮に入れて、修正露光時のパルスエネルギー調整量および修正パルス数を決定しているもので、露光光量などのエネルギー量を要求される精度に制御することができる。

〔実施例〕

以下、本発明の実施例を、添付図面を参照しながら詳細に説明する。

第1図は、本発明の実施例によるエネルギー量制御装置の構成を示してある。また、第2図には、主要部分の詳細な構成例が示されている。

これら第1図及び第2図において、露光光源であるエキシマレーザなどの外部トリガ可能なパルスレーザ10から出力されたレーザ光は、拡大レンズ12、対物レンズ14を各々透過して、エネルギー量調整手段16に入射するようになっている。

エネルギー量調整手段16は、第2図に示されているように、斜線部にレーザ光があたり、回転制御装置18によって制御される回転位置により、その透過エネルギー量が制御される。なお、回転

量は、図示しないエンコーグなどによって検出されるようになっている。

エネルギー量調整手段16を透過したレーザー光は、ビームスプリッター20に入射するようになっている。ここでレーザー光は分割され、一方は集光レンズ22を透過して光量計測用の受光素子24に入射し、他方は可干渉除去装置26に入射した後、更に光学的なインテグレート(フライアイレンズ等)28、コンデンサレンズ30を透過してレチクル(マスクと同義)32に入射し、その後不図示の投影レンズを介して感光基板の露光に使用されるようになっている。感光基板xyに移動可能なステージ上に設置されている。

次に、上述した受光素子24の出力は、アンプ34を介して、積算光量記憶装置36に入力され、ここで積算により得られた光量は、制御装置38に入力されるようになっている。制御装置38は、入力されたデータあるいは予め設定されたデータに基づいて、エネルギー量調整手段16の回転制御装置18およびパルスレーザー10に制御指令を

行なう機能を有する。

すなわち、レチクル32に透するレーザー光量は、制御装置38の指令により、パルスレーザー10自身に含まれるエネルギー変更手段(図示せず)と、エネルギー量調整手段16の回転量によって調整されるように構成されている。

ここで、エネルギー量調整手段16の具体例としては、調整量を連続的に設定できるものとして偏光板があげられる。レーザー光が直線偏光である場合、偏光板の回転量によって透過する光量は理想的には0~100%の間で変化する。第3図には、偏光板の回転量と、透過光量との関係の一例が示されており、透過光量変化は、偏光板の回転角度位置に関してCOSカーブになる。

また、エネルギー量調整手段16の別の具体例としては、調整量を離散的に設定するものとして数種類の荒さの異なるメッシュフィルタを切換可能な構造にすることがあげられる。数種類のメッシュフィルタを組み込んだエネルギー量調整手段16の一例を第4図に、このときのエネルギー調

整手段16の回転量と透過光量の関係を第5図に示す。第4図において、円板16'には円周方向に6つの円形開口部が形成され、開口16'aは単なる透過孔で透過率は100%であり、角度2πの位置に対応する。そして荒さの異なるメッシュフィルタ16'b、16'c、16'd、16'e、16'fが設けられ、夫々の透過光量は第5図のように角度π/3毎に順次小さくなるように定められる。

次に、エネルギー積算量を制御目標範囲に制御するための手法について述べる。

通常、パルス発光型のレーザーにおいては、パルスごとのエネルギー量はある平均値のまわりにばらつく。今、露光位置(例えば投影像面)でエネルギー量のパルス間平均値(例えば100パルスの平均値)を \bar{P} 、そのばらつき量を δP とおく。適正エネルギー量はNを粗露光平均パルス数として $N \cdot \bar{P}$ で表現できるものとする。また、修正露光パルス数をn、エネルギー量の目標制御精度をA(1%の場合、 $A=0.01$)とおく。本実施例

においては、修正露光時の積算エネルギー量のばらつきは、適正エネルギー量(目標値)に対するばらつきにそのまま効く。そこで、修正露光エネルギー量の最大値 P' は、

$$P' = N\bar{P} - \left[\{N(1+A)\} - \left\{1 + \left(\frac{\delta P}{\bar{P}}\right)\right\} \right] \bar{P} \\ = \left\{1 + \left(\frac{\delta P}{\bar{P}}\right) - AN\right\} \bar{P} \quad \dots \dots (1)$$

であり、これをnパルスにわけて修正露光したときのばらつき量 $S P'$ は、

$$\delta P' = \left\{1 + \left(\frac{\delta P}{\bar{P}}\right) - AN\right\} \cdot \delta P / \sqrt{n} \quad \dots \dots (2)$$

で表わされる。さらにエネルギー量制御精度がA以下であることより、式(2)から、

$$\frac{\delta P'}{N\bar{P}} = \frac{\left\{1 + \left(\frac{\delta P}{\bar{P}}\right) - AN\right\} \cdot \delta P}{N\bar{P} \sqrt{n}} \leq A$$

これを整理すると式(3)が得られる。

$$N \geq \frac{1}{A} \cdot \left(\frac{\delta P}{\bar{P}} \right) \cdot \left\{ \frac{1 + \left(\frac{\delta P}{\bar{P}} \right)}{\sqrt{n} + \left(\frac{\delta P}{\bar{P}} \right)} \right\} \dots \dots (3)$$

エキシマレーザの場合、普通 $(\delta P / \bar{P}) = 10\%$ 程度であり、また、 A を 1% (0.01) とすると、式(3)より修正露光パルス数 n が 1 のとき、 N は 10 以上、 n が 2 のとき、 N は 8 以上となる。すなわち、粗露光平均パルス数 N を大きくとれば、粗露光完了時での積算エネルギー量のばらつきが少く修正露光パルス数 n は小さな値でよい。一方、スループットの観点からは、総パルス数が小さい方がよいので、修正パルス数 n を複数パルスにして N を小さく押えることは意味がある。ここで第6図の1ショットにおける適正露光量を得るまでの露光の様子を示す。この図に示すように本実施例においては、粗露光時は受光素子24、アンプ34を介して積算光量記憶装置36で1パルス毎に積算光量を計算レフス1パルスのエネルギー量のばらつきを考慮して、次の1パルスによって積

A 及びパルスエネルギーのばらつき $\delta P / \bar{P}$ に応じて式(3)に基づいて修正パルス数と修正パルスのエネルギー量を決定する。エネルギー量に関しては調整手段16(又は16')を回転させて所定の透過率が得られるように設定する。そして、所定のパルス数で修正露光が行なわれる。

具体的には、第3図に示した回転偏光板16の場合は、先の式(3)により確認を行った上で修正パルス数 n を固定して、エネルギー量(透過率)を適切に調整してやればよい。また第4図に示した数種類のメッシュフィルタを有する回転板16'の場合には、修正露光時のエネルギー調整量が第5図のように離散的であるから、制御精度 A を達成するために、粗露光終了時点の積算光量値(不足の露光量)に応じて、メッシュフィルタの透過率と修正パルス数との適切な組み合わせが存在することになる。この場合も、残りの修正露光量を n パルスで行なうとして、先の式(3)により確認を行なうとよい。

ここで、修正露光時のエネルギー調整量 a を修

算値が制御目標値を超える可能性が生じるところまで行なう。

具体的には適正露光量 $N \cdot \bar{P}$ で規格化した粗露光終了判定レベル R_c を次の(4)式のように定める。

$$R_c = (1 + A) - \frac{1 + \left(\frac{\delta P}{\bar{P}} \right)}{N} \dots \dots (4)$$

そして実測した積算光量を $N \cdot \bar{P}$ で割り算した値が判定レベル R_c を越えるまで粗露光を行なうようにする。この判定レベル R_c に対応する積算値が本発明における目標値よりも小さい所定値に相当する。

この粗露光の場合はエネルギー量調整手段16(又は16')の回転角を調整して、 100% (すなわち最大)の透過率が得られるようにしておくといふ。そして最適な粗露光パルス数 N ($N \geq 1$) が得られるようにパルスレーザ10の出力エネルギー量を調整しておく。このようにすれば、 N を小さく押えることができる。粗露光が終了すると、それまでの光量積算値、制御目標値、精度

正パルス数 n の決定式について述べる。ここでエネルギー調整量 a とは、粗露光時のパルス間平均エネルギー (\bar{P}) に対する修正露光時のパルス間平均エネルギーの比である。今、粗露光終了時の積算光量を1とすると、

$$(1-A) - \frac{n - \sqrt{n} \left(\frac{\delta P}{\bar{P}} \right)}{N} \cdot a < \frac{1}{N \cdot \bar{P}} < \frac{n + \sqrt{n} \left(\frac{\delta P}{\bar{P}} \right)}{N} \cdot a \dots \dots (5)$$

$$\text{かつ、} A > \frac{\sqrt{n} \left(\frac{\delta P}{\bar{P}} \right)}{N} \cdot a \dots \dots (6)$$

を満たす a 、 n であれば、修正露光後の積算光量は、適宜露光量 $N \cdot \bar{P}$ に対し、 $\pm A$ の制御精度が保証されることになる。

以上、本実施例により、各パルスのエネルギー量の積算値を要求される精度に正確に制御することができる。

次に、露光装置として本発明を適用した場合の具体的なシーケンスについて第7図を用いて説明する。

まず、ステップ100で適正露光量がオペレータにより入力される。次に、ステップ102で露光面上での1パルスの平均エネルギー \bar{P} の測定を行なう。これは、第1図、第2図では不図示の感光基板が載置されるべきXYステージ上に設置された光電センサ(照度測定計)によりおこなわれ、複数パルスの平均により、1パルスのエネルギーのばらつきの寄与を消去するものとする。この光電センサは予め校正されているものとする。オペレータにより入力された適正露光量とから、直ちに、粗露光平均パルス数Nが求まる(ステップ104)。次に、Nが(3)式を満たしているか否かと判断し(ステップ106)、満たしていない場合は、ステップ108でエネルギー調整手段16(又は16')あるいはレーザ10自体により、露光面でのエネルギーを減衰させたのち、再度 \bar{P} の測定に戻る。さて、Nが(3)式を満たしている場

合には、(4)式により、粗露光終了判定レベル R_c が求まる(ステップ110)。そして、次にXYステージが移動して感光基板を所定位置にアライメント後、粗露光が開始される。粗露光時は1パルスごとに粗算光量Iのチェックがおこなわれ(ステップ112、114)、粗露光終了判定レベル R_c を越えた時点で、修正露光に入る。この時、すでに露光量制御精度が満たされているか否かを判断し(ステップ116)、満たされていれば、修正露光は不要であるからこの位置での露光を終了し、次のステップ118に進む。また、修正露光が必要な場合には、(5)(6)式より、エネルギー調整量aとパルス数Nを決定後(ステップ120)、修正露光をおこなう(ステップ122)。次に、ステップ118において感光基板上の別の場所と同様な露光をおこなうと判断された場合は、ステップ124でaを1.0(100%)にインシャライズ後、次の露光に入る。また、感光基板上の必要な場所すべてで露光が終了したときは、一連のシーケンスが終了することとなる。

以上により、第7図のようなフローチャートに従えば、能率よく、要求された露光量制御精度をもって露光をおこなうことができる。

ところでエネルギー源がレーザ光の場合、レーザ光の持つ可干渉性により露光面においてスペックルと呼ばれる照度むらが生じることがある。照度むらは半導体素子製造のフォトリソグラフィ工程におけるパターン線幅のコントロールに重大な影響を与える。そこで特開昭59-226317号公報に開示されているような手法でスペックルを低減させることも考えられている。本発明によるエネルギー量制御は、このようなスペックル低減策と組み合わせて用いるとより効果的である。

上記公報におけるスペックル低減策(インコヒーレント化)では、レーザ光を振動ミラー等により一定周期で2次元振動(ラスタスキャン)させて、レーザ光の照明光路をわずかにずらしていくものであり、空間的にコヒーレンシを低減させていくものである。このような手法の照明系にエキシマレーザ光のようなパルスエネルギーを

通す場合は、ミラー等による2次元走査に同期させて複数のパルスを照射することになる。通常エキシマレーザの発振パルス幅は20nSec程度と極めて短く、ミラー等を数kHz程度で振動させたとしてもエキシマレーザの1パルスはミラーの2次元振動周期中は、あたかも静止しているようにふるまう。第8図は、先の特開昭59-226317号公報に開示された手法を用いたときに、レーザ光(パルス光)をスキャンさせて生じる投影レンズの瞳面での光源像(レーザスポット)の様子を示す平面図である。投影レンズの瞳面epにはオブチカルインテグレータ28の射出端の像が形成され、所謂ケーラー照明が行なわれるものとする。オブチカルインテグレータ28に入射するパルスエネルギーを平行光とし、その入射角がわずかに変化するようにミラー等で偏向すると、インテグレータ28を構成する複数のレンズ素子(ロッドレンズ等)の各々の射出面にできるスポット光SPの位置も2次元的に変化する。ミラー等の偏向角は極めて小さいため、小ミラーを

ビエゾ素子でドライブする程度で十分である。第9図はインテグレート28の1つのレンズ素子28'の拡大図であり、2次元走査の軌道SLに沿って適宜パルス発光させ、1回の走査中にスポット光SPの位置を変えて点在させる。第9図は模式的に示したものであり、実際のスポット光SPの大きさはレンズ素子28'の端面の大きさに程度に近づくこともある。第9図では1回の走査で11パルスの発光がおこなわれている。またパルス発光の1走査期間中の位置はレンズ素子28'の端面中で規則的な位置、ランダムな位置のいずれであってもよい。

このような手法の場合、ミラーによる1走査の間に複数のパルスが打たれることで、レチクル32(又は感光基板)上で生じるスペックル縞が移動し、その複数のパルスの積算後には照明むらが低減されるというものである。

このスペックル低減策と本実施例のエネルギー量制御方式とを組み合わせる場合は、第6図中の粗露光動作時に行なうと効果的である。すなわち

光)ができ、照度均一性がより高精度になるからである。

〔発明の効果〕

以上の様に本発明によれば、エネルギー発生源から出力されるパルスのエネルギー量にパルス間ばらつきがあったとしても、その積算値を目標値に対して要求される精度内に押えることができる。また、機械の駆動等によるエネルギー量の調整動作が修正露光直前の1回のみであるので、スループットの観点からも有利である。更に、修正露光時のパルス数を複数パルスにすることにより総露光パルス数を減らすことができ、やはりスループットの観点から有利である。

また、エネルギー源がレーザー光の場合スペックル対策と組み合わせることができ、効果的である。

4. 図面の簡単な説明

第1図、第2図は本発明の実施例によるエネルギー制御装置の構成を表わす図、第3図は、エネルギーの連続的な調整手段の回転量と透過光量の関係を表わすグラフ、第4図は、エネルギーの細

第6図の粗露光時の1パルス分のエネルギー量を、1回の2次元走査中に打つ複数のパルスの合計エネルギー量に置き換えて考えればよい。従って、この場合は1回の走査中に打たれる各パルス毎のエネルギー量は第6図の粗露光中のパルスエネルギー量よりも十分小さくする必要がある。またミラーによる2次元走査も複数回行なわれることもある。

そして修正露光時は照度むらに与える影響は少ないので、粗露光時のような置き換えは行なわず、第6図中の修正露光時の1パルスは走査期間中の1パルスと同じに扱えばよい。このようにするとスループットの点で有利である。また、オブチカルインテグレートとビームスキャンによりレーザー光をインコヒーレント化する場合、特開昭58-147708号公報に開示されているように、オブチカルインテグレートを2段配置にするとよい。このようにすると、1段のインテグレートに含まれるレンズ素子をm個とすると、投影レンズの端面ではm×m個の2次光源像(レーザーのスポット

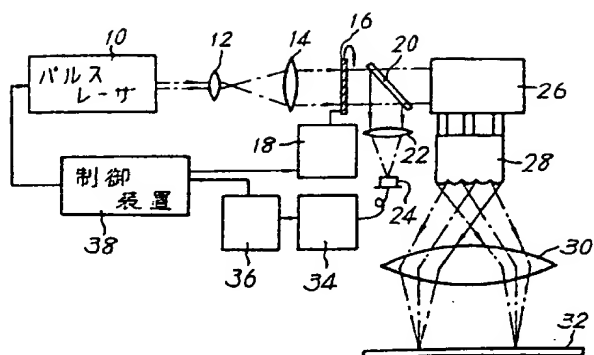
散的な調整手段としてのメッシュフィルタの構成を示す平面図、第5図は第4図に示した調整手段の回転量と透過光量の関係を表わすグラフ、第6図は、本実施例における露光の様子を示すタイミングチャート図、第7図は実際の露光動作時の具体的なシーケンスを表わすフローチャート図、第8図はオブチカルインテグレートの端面での様子を示す平面図、第9図はインテグレートの1つの素子の端面でのビームスキャンの様子を示す平面図である。

〔主要部分の符号の説明〕

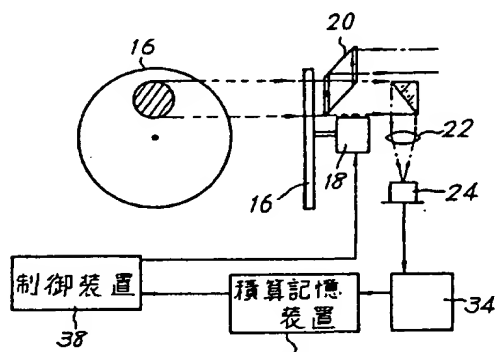
- 10…パルスレーザー
- 16…エネルギー調整手段
- 20…ハーフミラー
- 18…エネルギー調整手段回転制御装置
- 24…受光素子
- 36…積算光量記憶装置
- 38…制御装置

出願人 日本光学工業株式会社

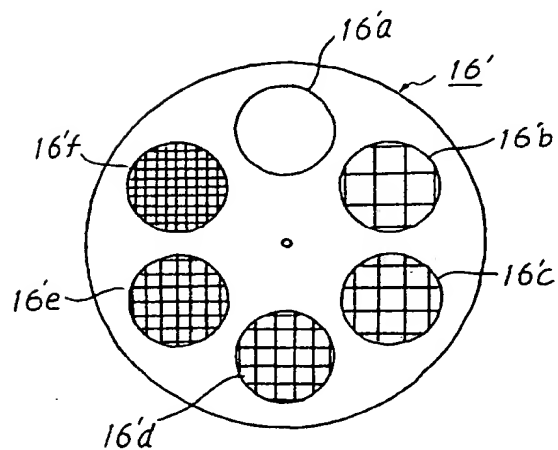
代理人 渡辺 隆 男



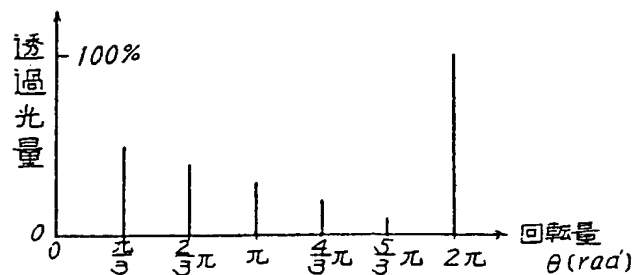
第 1 図



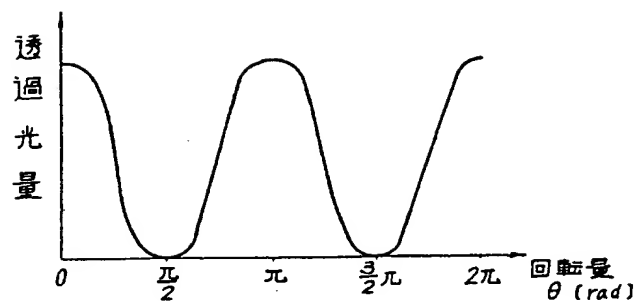
第 2 図



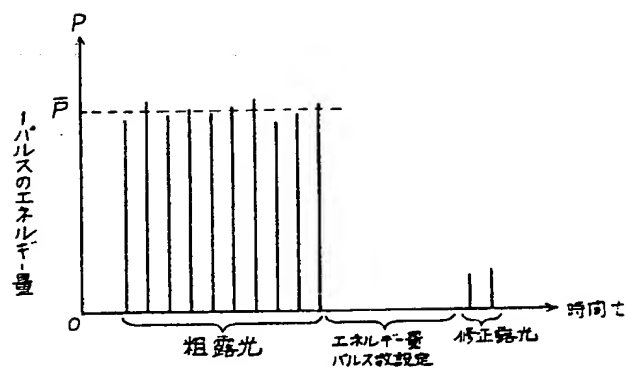
第 4 図



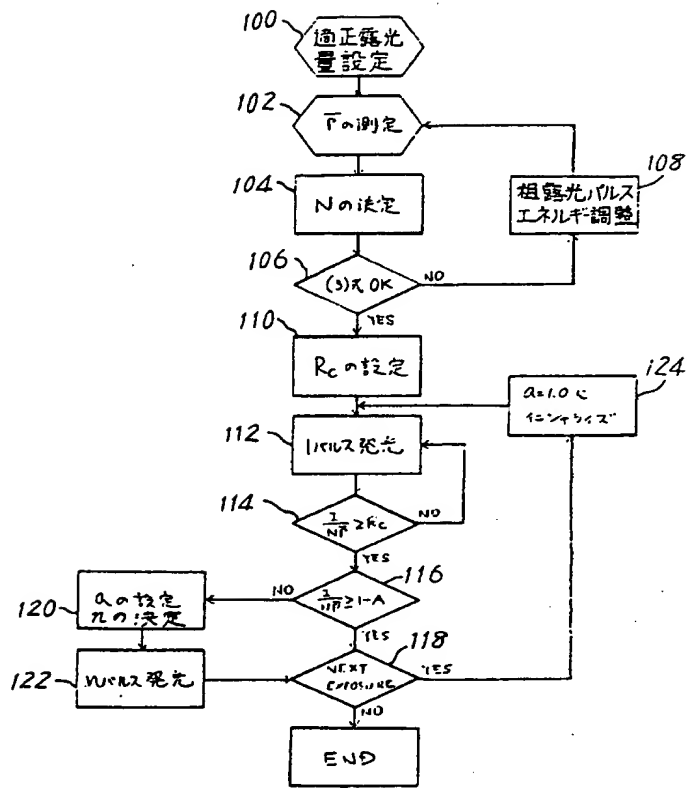
第 5 図



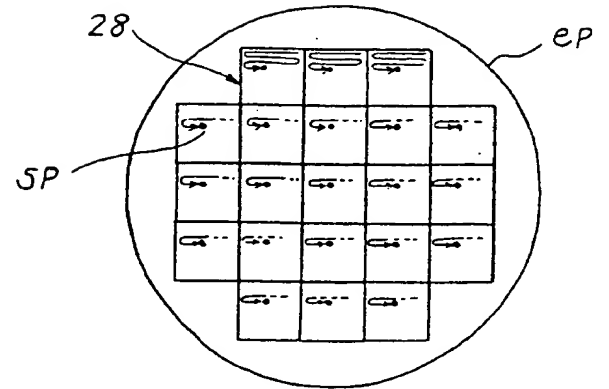
第 3 図



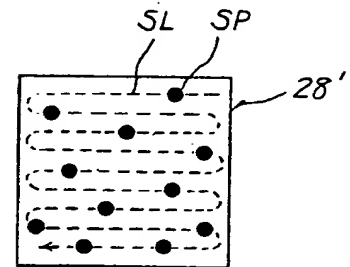
第 6 図



第7図



第8図



第9図